

This Page Is Inserted by IFW Operations  
and is not a part of the Official Record

## BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning documents *will not* correct images,  
please do not report the images to the  
Image Problem Mailbox.



JPB3,259.190 which  
corresponds to USP 5,402,224

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第3259190号  
(P3259190)

(45) 発行日 平成14年2月25日 (2002.2.25)

(24) 登録日 平成13年12月14日 (2001.12.14)

(51) Int.Cl.

識別記号

FI

G01M 11/02

G01M 11/02

B

G03F 1/08

G03F 1/08

M

H01L 21/027

H01L 21/30

516Z

請求項の数 8 (全 11 頁)

(21) 出願番号 特願平4-256103

(22) 出願日 平成4年9月25日 (1992.9.25)

(65) 公開番号 特開平6-109588

(43) 公開日 平成6年4月19日 (1994.4.19)

審査請求日 平成11年9月27日 (1999.9.27)

(73) 特許権者 000004112

株式会社ニコン

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号

(72) 発明者 馬込 伸良

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号

株式会社ニコン内

(72) 発明者 諏訪 恭一

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号

株式会社ニコン内

審査官 田邊 英治

(56) 参考文献 特開 平4-45512 (JP, A)

特開 昭59-94032 (JP, A)

特開 平4-106449 (JP, A)

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 投影光学系のディストーション検査方法

1

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】 マスクに形成されたパターンの像を感光基板に転写するための投影光学系のディストーションを検査する方法において、

前記マスクは、第1の計測用パターンと、前記第1の計測用パターンに対して所定間隔離して配置された第2の計測用パターンとをそれぞれ複数備え、

複数の前記第1の計測用パターンを、前記投影光学系を介して所定面に投影する第1工程と、

前記マスクと前記所定面とを相対移動させた後、複数の前記第2の計測用パターンを、前記投影光学系を介して前記所定面に投影する第2工程と、

前記第1の計測用パターンと前記第2の計測用パターンとの相対的なずれ量を、前記所定面における前記投影光学系の投影視野内の互いに異なる位置でそれぞれ測定す

2

る第3工程と、

前記第3工程で測定されたずれ量を積算し、前記投影光学系の投影視野内における任意位置のディストーション量を算出する第4工程とを含むことを特徴とする投影光学系のディストーション検査方法。

【請求項2】 前記第3工程は、前記ずれ量を、前記投影光学系の投影視野内の互いに異なる像高点のそれぞれで測定し、

前記第4工程は、前記ずれ量を像高値の順番に積算した値を、その像高点でのディストーション量として算出することを特徴とする請求項1に記載の検査方法。

【請求項3】 前記第1の計測用パターンは、第1の方向に配列された第1格子パターンと、前記第1の方向と交差する第2の方向に配列された第2格子パターンとを有し、

前記第2の計測用パターンは、前記第1の方向に配置され、かつ前記第1格子パターンに対して第1の所定間隔離して配置される第3格子パターンと、前記第2の方向に配置され、かつ前記第2格子パターンに対して第2の所定間隔離して配置される第4格子パターンとを有することを特徴とする請求項1または請求項2に記載の検査方法。

【請求項4】前記第1工程は、前記第1格子パターンと前記第2格子パターンとを、前記投影光学系を介して同時に前記所定面に投影し、

前記第2工程は、前記マスクと前記所定面とを前記第1の所定間隔に対応する量に基づいて相対移動させた後、前記第3格子パターンを、前記投影光学系を介して前記所定面に投影する工程と、前記マスクと前記所定面とを前記第2の所定間隔に対応する量に基づいて相対移動させた後、前記第4格子パターンを、前記投影光学系を介して前記所定面に投影する工程とを有することを特徴とする請求項3に記載の検査方法。

【請求項5】前記第3工程は、前記第1格子パターンと前記第3格子パターンとの位置ずれ量及び前記第2格子パターンと前記第4格子パターンとの位置ずれ量を測定し、

前記第4工程は、前記第1の方向におけるディストーション特性と、前記第2の方向におけるディストーション特性とを算出する工程と、算出された前記ディストーション特性のそれぞれを合成して、グラフィックス表示する工程とを有することを特徴とする請求項3に記載の検査方法。

【請求項6】前記第1の計測用パターンは、格子パターンであり、

前記第2の計測用パターンは、前記第1の計測用パターンに対して、所定角度傾斜して形成された格子パターンであり、

前記第2の工程は、前記第1の工程で前記所定面に投影された前記第1の計測用パターンに対して、前記第2の計測用パターンを重ね合わせ露光し、

前記第3の工程は、重ね合わせ露光によって形成されたくさび状のパターンに基づいて、前記ずれ量を測定することを特徴とする請求項1に記載の検査方法。

【請求項7】マスクに形成されたパターンの像を感光基板に転写するための投影光学系のディストーションを検査する方法において、

前記マスクは、第1の計測用パターンと、前記第1の計測用パターンに対して所定間隔離して配置された第2の計測用パターンとをそれぞれ複数備え、

複数の前記第1の計測用パターンを、前記投影光学系を介して所定面に投影する第1工程と、

前記マスクと前記所定面とを相対移動させた後、複数の前記第2の計測用パターンを、前記投影光学系を介して前記所定面に投影する第2工程と、

前記第1の計測用パターンと前記第2の計測用パターンとの相対的なずれ量を、前記所定面における前記投影光学系の投影視野内の互いに異なる位置でそれぞれ測定する第3工程と、

前記第3工程で測定されたずれ量に基づいて、前記投影光学系の投影視野内におけるディストーション特性上の傾き量を算出する第4工程とを含むことを特徴とする投影光学系のディストーション検査方法。

10 【請求項8】前記第3工程は、前記ずれ量を前記投影光学系の投影視野内の互いに異なる像高点のそれぞれで測定することを特徴とする請求項7に記載の検査方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、半導体素子、又は液晶表示素子等の製造時に使われる投影露光装置等に組み込まれた超精密投影光学系のディストーション（倍率誤差、投影像の歪曲収差）等を計測する方法に関するものである。

【0002】

20 【従来の技術】従来、投影露光装置内の投影光学系は極めてきびしい規格のもとで設計、製造が行なわれている。特に投影光学系のディストーション特性については、投影露光装置に組み込んだ状態で最も良好になるように調整される。この際、そのディストーション特性はいくつかの公知の方法のうちの1つで計測される。そこでそれらの公知の方法について以下説明する。

【0003】① 特公昭63-38697号公報

この公報に開示された方法は、テストレチクル上に形成された主バーニア（主尺）と副バーニア（副尺）とを、  
30 感光基板（ダミーウェハ等）のレジスト層に重ね焼きし、現像した後のレジストパターン（主尺、副尺）のずれ量を目視検査するものである。具体的にはテストレチクルR tの中心点とパターン形成領域内の測定したい複数点との夫々に、主バーニアパターンB mと副バーニアパターンB sとを接近させて形成する。検査にあたっては、レチクルR tの全面を感光基板上の一定位置に露光した後、中心点の主バーニアパターンB mの投影像が、先に露光された他の複数点の副バーニアパターンB sの各位置に重なるように、感光基板を順次移動させては露光することを繰り返す。その移動はレーザ干渉計等の高精度測長器を備えた精密移動ステージによって行なわれ、またその移動量はレチクルR t上の中心点と他の複数点との設計上の間隔に対応して一義的に決められており、その間隔分に応じた距離だけ移動ステージを精密に移動させてから、感光基板上に先に露光されている副バーニアパターンB sの位置に、中心点の主バーニアパターンB mの投影像を露光する。

50 【0004】現像後の感光基板には、レチクルR t上の中心点に対応する主バーニアパターンのレジスト像の周辺に主バーニアパターンと副バーニアパターンとが重な

り合ったレジスト像が複数ヶ所に形成される。その重なり合ったバーニアのレジスト像を目視（顕微鏡）によって読み取ると、その点での重ね合わせ誤差量が求まる。移動ステージの送り十分に正確であれば、バーニアの読み値（重ね合わせ誤差量）はその点でのディストーション量に相当したものとなる。そこで重なり合ったバーニアレジスト像を各点で読むことによって、各点でのディストーション量（偏差量）を求め、投影光学系の投影視野全体でのディストーション特性を確認している。

【0005】② 特開昭59-94032号公報

この公報に開示された方法は、先の従来例①と異なり、感光基板への焼き付けを不要としたものであり、投影露光装置内の移動ステージ上に微小スリット開口付きの光電センサーを設け、投影されたレチクルパターンの一部を直接光電検出するようにしたものである。具体的には、テストレチクル上の設計で決められた複数の位置の夫々にスリット状のマークを形成しておき、このレチクルの全面を投影光学系によって移動ステージ側へ投影する。そして投影された各マークの像が光電センサーで検出されるように移動ステージを移動させ、その位置をレーザ干渉計で計測することによって、各マークの投影位置が求まる。その後、計測された各マーク位置と、レチクル上でのマーク配置との関係から、計算によって投影光学系のディストーション特性を求めている。

【0006】③ 特開昭63-177421号公報

この公報に開示された方法は、上記、②の従来技術の光電センサーの代りに、スリット状の発光マークを移動ステージ上に設け、この発光マークを投影光学系を介してレチクル側へ逆投影し、移動ステージを移動させてレチクル上のマークを発光マーク像で走査し、レチクルを透過した光量を露光用照明光学系内に設けた光電センサーで受光する方式を用いるものである。そしてこの発光マークとレチクル上の複数のマークの夫々が重なる移動ステージの座標位置をレーザ干渉計で計測し、計測座標値とレチクル上のマーク配置とに基づいてディストーション特性を計測している。

【0007】④ その他の手法

他の方法として、予め位置のわかっている複数のマークが形成されたテストレチクルを、投影光学系を介して感光基板上に露光し、現像後に生成された各マークのレジスト像の位置関係を、高精度な測定装置で直接計測し、その計測値をレチクル上の各マークの設計位置と比較することでディストーション特性を求めることも可能である。また現像を伴わない方法として、感光基板のレジスト層に露光されたマークの潜像、又は感光基板の表面にレジスト層の代りに形成されたフォトリソミック層に露光して可視化されたマーク像を検出することも可能である。

【0008】

【発明が解決しようとする課題】ところで、上記の各従

来技術には、それぞれ以下のような欠点、又は問題点が存在する。まず、①の技術においては、感光基板を載置するステージを2次的に繰り返しステップ移動させて一部重複露光するため、各ステップ移動位置へのステージの静止精度やヨーイング精度等がディストーション量の計測値に誤差となって含まれてしまう。さらに、テストレチクルRt上の中心部の主バーニアパターンBmから周辺部の副バーニアパターンBsまでの距離は、最大50mm程度と長くなるため、テストレチクル製造時のバーニアパターンの描画誤差（配置誤差）が大きくなることがあり、これがディストーション量の計測値に誤差となって含まれてくる。このようなレチクル製造時の誤差分は、予め別の高精度な測定装置を用いて計測しておき、ディストーション量の算出時に補正值とすれば相殺されることになるが、その補正量の精度分、換言すれば高精度な測定装置の計測精度分の誤差は残留してしまう。

【0009】また①の従来技術では、多数回の一部重複露光を必須とするので、全ての重複露光が完了するまで比較的長い時間がかかる。測定のために露光作業時間が長くなるのは、オペレータの負担、スループットの低下があることもさることながら、移動ステージの位置測定に使われるレーザ干渉計の安定性（空気ゆらぎ等）に起因した位置決め精度の劣化（ドリフト）の影響をそのまま受けるといって大きな問題点となる。

【0010】次の②、③の従来技術においては、①の技術で必須の現像処理がないだけオペレータの負担は軽減されるが、移動ステージの走り精度、レーザ干渉計の安定性、レチクル上のマークの配置誤差等の問題については、①の技術の場合と全く同じに発生することになる。さらに②、③の技術でも、ステージの移動回数が多く、このため、全てのマーク（例えば200ヶ所程度）の位置を計測し終るまで、かなりの時間がかかることになる。

【0011】④の従来技術のうち、潜像等を検出する場合は、現像処理が省略される点では楽であるが、潜像の検出精度の向上が課題となるばかりでなく、先の①の技術と同様、移動ステージの走り精度レーザ干渉計の時間的安定性、レチクルマークの配置誤差等も、さけられない問題として残っていた。以上、従来のディストーション計測では、露光装置側の問題として移動ステージのステップ移動精度や走り精度（レーザ干渉計の不安定要因も含む）が共通した欠点となっている。さらに①の技術では露光作業に多大の時間が必要になり、②、③、④の技術では計測作業に多大の時間が必要になるといった問題点があった。

【0012】そこで本発明は、それらの問題点を解決し、精度を向上させたディストーション検査方法を提供することを目的とする。

【0013】

10

20

30

40

50

【課題を解決する為の手段】そこで本発明においては、テストレチクル上の計測用マークを感光性基板（フォトリソ層、又はフォトリソミック層で被覆された基板）へ重ね合わせ露光する回数を最低限2回にするようにし、その間、移動ステージの移動は1回だけにするようにした。すなわち本発明では、検査すべき投影光学系の視野内でディストーション量を測定すべき複数の点の夫々に対応したマスク（レチクルR）の各位置に、第1の計測用パターン（BM<sub>x</sub>、又はBM<sub>y</sub>）と第2の計測用パターン（BS<sub>x</sub>、又はBS<sub>y</sub>）との一対を、一方向（X方向、又はY方向）に一定量の間隔 $\Delta T$ （ $\Delta X$ 、又は $\Delta Y$ ）で接近して設けたマスクを感光基板（ウェハW）へ投影露光する第1工程を実施する。その後、ただちにマスクと感光基板とを相対的に間隔 $\Delta T$ で決まる量だけ移動（マスクを移動させるときは $\Delta T$ 、ウェハWを移動させるときは投影倍率Mを考慮して $M \cdot \Delta T$ ）させてから、同じマスクのパターンを感光基板へ投影露光する第2工程を実施する。間隔 $\Delta T$ はマスク上では1mm程度であるため、第1工程の露光と第2工程の露光との間の時間的な間隔は、マスクやウェハの移動時間のみであり、通常は1秒以内である。その後、感光基板上に形成された第1計測用パターンと第2計測用パターンとの重ね合わせ像（非測定方向に横ずれしていてもよい）の相対的なずれ量を、投影視野の互いに異なる複数の像高点の夫々について測定する。この測定値は、ディストーション曲線上の対応する像高点での微小幅 $\Delta T$ に関する微分値、換言すればある像高点におけるディストーション曲線上の傾き量になっている。

【0014】そして次に、測定されたずれ量を像高値の順番に順次積算することで、その像高点でのディストーション量を算出する工程を実施する。ここで言う積算とは、例えばある像高点でのディストーション量を、その点よりも小さい像高点の夫々で測定された値の加算値として求めることを意味する。

【0015】

【作用】本発明の原理を図1を参照して説明する。図1（A）は、投影光学系の視野の中心、すなわち光軸からの像高をX軸（横軸）にとり、ディストーション量D（x）を縦軸にとったディストーション特性の一例である。レチクル上に形成される計測用パターンはX方向に一定間隔S<sub>x</sub>（例えばレチクル上で5mm）で複数個配置され、各計測用パターン内で重ね合わせすべきパターン同士はX方向に $\Delta X$ （ $\Delta X \ll S_x$ ）だけ離れているものとする。感光基板上に最初に露光された計測用パターン群（X軸上に間隔S<sub>x</sub>で位置する）は、図1（A）のようなディストーション特性を伴って転写されている。ここでディストーション量D（x）は、本来、理想格子点に転写されるべき点像が、その理想格子点に対して投影視野内で光軸から離れる方向に変位したときに正の値を取り、逆に光軸に近づく方向に変位したとき負の値を取

るものとする。

【0016】次にレチクルと感光基板とを相対的に $\Delta X$ だけずらして再び露光を行なう。このとき、感光基板上に転写される計測用パターン群は、図1（B）中の破線で示したディストーション特性D（x+ $\Delta X$ ）を伴って露光される。こうして、 $\Delta X$ の変位を与えた重ね合わせ露光によって、X方向に間隔S<sub>x</sub>で形成された2つのパターンのX方向のずれ量を、間隔S<sub>x</sub>毎の各位置x<sub>0</sub>、x<sub>1</sub>、x<sub>2</sub>……について計測する。それによって図1（C）のようなデータが得られる。各位置x<sub>0</sub>、x<sub>1</sub>、x<sub>2</sub>……の夫々でのずれ量D'（x）は、その位置における2つのディストーション特性D（x）とD（x+ $\Delta X$ ）との差分に相当するものであり、換言するとディストーション特性D（x）上での微分係数（傾き量）に対応している。

【0017】そこでこれらのデータに基づいて、図1（D）のような積分を行なう。すなわち、位置x<sub>0</sub>での求めるべきディストーション量をF（x<sub>0</sub>）としたとき、 $F(x_0) = \{D'(x_0) + D'(x_1) + \dots + D'(x_n)\} \cdot S_x / \Delta X$ の代数和の演算を行なう。ここでnは投影視野の中心点を零とした計測点の順番（0、1、2……）を表わし、 $F(x_0) = \{D'(x_0)\} \cdot S_x / \Delta X$ 、 $F(x_1) = \{D'(x_0) + D'(x_1)\} \cdot S_x / \Delta X$ となる。以上の計算で得られた各位置x<sub>0</sub>、x<sub>1</sub>、x<sub>2</sub>……での積算値F（x）をプロットした特性は、ディストーション特性D（x）、又はD（x+ $\Delta X$ ）に他ならない。

【0018】このように、レチクルと感光基板とを相対的に $\Delta X$ だけ移動させて重ね合わせ露光すると、形成された2つのパターンの位置ずれ量はディストーション特性（曲線）上の傾き量として計測される。一般にこの種の投影光学系のディストーションは元々、極めて小さいので、測定すべき点の数はなるべく多くした方がよい。また、各測定点でのパターンの位置ずれ量も極めて小さいので、分解能が極めて高い測定センサーや測定方式を用いることが必要となる。

【0019】

【実施例】次に本発明の第1の実施例について、図2～図5を参照して説明する。図2は本実施例で使われるレチクルR上に形成される各種パターンの配置を示す。レチクルR上のパターン形成領域は矩形枠状の遮光帯SBによって区画されている。そして、遮光帯SBの外側でレチクルRの周囲の3ヶ所には、投影露光装置（以下、ステッパーと呼ぶ）へ装着する際の位置決め（レチクルアライメント）に使われるレチクルマークRM<sub>1</sub>、RM<sub>2</sub>、RM<sub>3</sub>が形成されている。

【0020】パターン形成領域内には、9×9のマトリックス状に81個の計測用パターン群MPが形成されている。各パターン群MPはX方向に間隔S<sub>x</sub>、Y方向に間隔S<sub>y</sub>で配列され、そのうち1つのパターン群MPは

レチクルRの中心点、すなわち投影光学系の光軸が通る点に配置される。また1つのパターン群MPは電子線露光装置(EB露光装置)の1フィールドの大きさ(例えば5mm角)よりも小さなサイズで作られており、1つのパターン群MP内のパターン要素は、EB露光装置の電子ビームによるラスタ走査、ベクター走査等によって一度に描画されて作られる。ただし、レチクルR上の全てのパターン群MPを描画するため、EB露光装置の精密移動ステージはX方向にピッチ $S_x$ 、Y方向にピッチ $S_y$ ずつステップ移動しては、各ステップ位置でパターン群MPを描画する。

【0021】さて、1つのパターン群MP内には、図2中の円内に拡大して示すように、同一寸法の3つのパターン要素領域CPA、CPX、CPYが含まれている。パターン要素領域CPAは計測中心となる部分であり、この領域CPAの中心点に対して、領域CPXの中心点はX方向に $\Delta X$ だけ離れ、領域CPYの中心点はY方向に $\Delta Y$ だけ離れている。

【0022】各領域CPA、CPX、CPY内に形成されるパターン要素は、本実施例では図3に示したように、1次元の格子パターンとする。領域CPA内には、X方向に一定のピッチで形成された格子パターンBM $_x$ と、Y方向に一定のピッチで形成された格子パターンBM $_y$ (外形寸法はBM $_x$ と同じ)とが互いに90°の関係で設けられる。領域CPX内には、格子パターンBM $_x$ からX方向に $\Delta X$ だけ間隔をあけるとともに、Y方向にY $_m$ だけオフセットさせた位置にパターンBM $_x$ と全く同じ形状、構造の格子パターンBS $_x$ が設けられる。さらに領域CPY内には、格子パターンBM $_y$ からY方向に $\Delta Y$ だけ間隔をあけるとともに、X方向にX $_m$ だけオフセットさせた位置にパターンBM $_y$ と全く同じ格子パターンBS $_y$ が設けられる。これら格子パターンBM $_x$ 、BM $_y$ 、BS $_x$ 、BS $_y$ のピッチ方向と直交する方向の幅はDsであり、本実施例ではX $_m$ =Y $_m$ >Dsに設定される。

【0023】このようなレチクルRをステッパーに装着して露光する場合、本実施例では図4に示すようにずらし露光が行なわれる。フルフィールドを利用するステッパーの場合、レチクルR上のパターンは上下反転、左右反転の鏡像関係で感光基板へ転写される。しかしながら、説明を簡単にするため、図4では図3のパターン配置をそのまま感光基板へ露光したものとして示してある。図4は、1つのパターン群MPについてののみ示すが、レチクルR上の他のパターン群MPについても全く同じである。まず、最初の露光によって、図4中に実線で示すように3つのパターン要素領域CPA、CPX、CPYが感光基板上に転写される。そして2回目の露光のとき(図4中に1点鎖線で示す状態)には感光基板がX方向に $\Delta X'$ だけ精密に移動され、さらに3回目の露光のとき(図4中に破線で示す状態)には、1回目の露

光位置から感光基板がY方向に $\Delta Y'$ だけ移動される。これによって、1回目露光された領域CPAの像の位置には、領域CPX、CPYの各像が丁度重なり合って転写される。感光基板の移動量 $\Delta X'$ 、 $\Delta Y'$ はレチクルR上の領域CPA、CPX、CPYの間隔 $\Delta X$ 、 $\Delta Y$ に対応したものであり、ステッパーの投影光学系の投影倍率をM(1/5縮小の場合、M=5)とすると、 $\Delta X=M \cdot \Delta X'$ 、 $\Delta Y=M \cdot \Delta Y'$ に定められる。

【0024】以上のようにして、3つの領域CPA、CPX、CPYの各像が重なって露光された感光基板上の部分には、図5に示すように4つの格子パターンBM $_x$ 、BM $_y$ 、BS $_x$ 、BS $_y$ の各像が整列して転写され、感光基板を現像することによって、各格子パターンがレジスト像(凹凸パターン)として出現する。ここで感光基板上の格子パターンBS $_x$ 、BM $_x$ のX方向の位置ずれ量と、格子パターンBS $_y$ 、BM $_y$ のY方向の位置ずれ量とを計測することによって、そのパターン群MPが位置する投影視野内の点でのディストーション変化率(傾き量)が、X方向とY方向との両方に関して求められる。

【0025】以上の説明から明らかなように、3つの領域CPA、CPX、CPYの各像が重ね焼きされるため、図5に示すような格子パターン配列を得るには、レチクルR上の領域CPA、CPX、CPYの夫々は、クロム等で全面的に遮光層にしておき、その中に格子パターンBS、BMの各スリットを透明部として刻設しておく必要がある。これは感光基板上のレジスト層がポジ型、ネガ型のいずれの場合も同じである。

【0026】本実施例の場合、図2のレチクルRを用いるとしたので、感光基板上に転写された1ショットの領域(実際は $\Delta X'$ 、 $\Delta Y'$ だけ大きくなる)内には、図5のような重ね合わせ部分がX、Y方向にそれぞれ間隔 $S_x$ 、 $S_y$ で各9個ずつ、計81個形成される。それらの重ね合わせ部分のうち、レチクルRの中心(ショット中心)に位置するものを基準として、X方向に並んだ重ね合わせ部分内の格子パターンBM $_x$ 、BS $_x$ (レジスト像)の各位置ずれ量を計測すると、先に図1で示したように、投影視野内のX軸方向に関するディストーション特性F(x)が求まる。同様に、ショット中心に位置する重ね合わせ部分を基準としてY方向に並んだ重ね合わせ部分内の格子パターンBM $_y$ 、BS $_y$ (レジスト像)の各位置ずれ量を計測すると、投影視野内のY軸方向に関するディストーション特性が求まる。

【0027】ここで、格子パターン、要素領域CPA、CPX、CPY、間隔 $S_x$ 、 $S_y$ 、 $\Delta X$ 、 $\Delta Y$ 等の具体的な寸法の一例をあげる。この種のステッパーの投影光学系は1/5縮小の場合、投影視野として感光基板上で30mm程度の直径を有し、それに内接する最大の正方形の一辺の寸法は約21mmである。そこで1ショット内に9×9個のパターン群MPの像を均等に配列するとする

11

と、感光基板上でのパターン群MPの像の間隔 $S_x/M$ 、 $S_y/M$ は約2.5mmにすればよい。

【0028】すなわち、レチクルR上では間隔 $S_x$ 、 $S_y$ を12.5mmにすればよい。一方、感光基板上に形成される格子パターンBSx、BSy、BMx、BMyのレジスト像はライン・アンド・スペースのピッチとして2μm、線幅として1μm程度が安定に転写できる。そこで格子パターンとしての格子本数を40本、格子の長さを40μm程度にすると、1つの格子パターンの感光基板上での寸法は約80×40μmになり、これはレチクル上では0.4×0.2mmになる。ちなみに、図3で示した幅Dsがレチクル上で0.2mmになる。そこで図3中の間隔Xm、Ymをレチクル上で0.3mmにすると、要素領域CPA、CPX、CPYの夫々のレチクル上での寸法はほぼ1×1mm角になる。従って領域CPA、CPX、CPY内の各格子パターンのX、Y方向の間隔ΔX、ΔYは、レチクル上で1mm以上あればよいことになり、各領域間のスペースを考慮しても、1.2mm程度で十分である。このことから、1つのパターン群MPを構成する3つの領域CPA、CPX、CPYのレチクル上での全体的な寸法は、2.2×2.2mm角の範囲内に納まり、EB露光装置の1フィールドのサイズよりも小さくできる。また、1つのパターン群MPの投影像の大きさは、1/5縮小のとき感光基板上で0.44×0.44mm角であり、図4のようにΔX'、ΔY'(0.24mm)だけずらして重ね合わせ露光したときの専有面積は、感光基板上で0.68×0.68mm角の範囲に納まる大きさである。そのため、図4のような重ね合わせ露光部分(0.68mm角)を、1ショット内に密に配列するとすると、3つの領域CPA、CPX、CPYの夫々の像が重なった部分のX方向、Y方向の間隔(ピッチ)、すなわち $S_x/M$ 、 $S_y/M$ は約1mm程度にできる。従って1ショット内(投影視野内)で約1mm間隔毎にディストーション量の変化率が計測できることになる。

【0029】ところで、レチクルRと感光基板の相対的な移動によって、全てのパターン群MPの像が一斉にΔX'、ΔY'だけ移動することになるので、投影視野の中心点(像高値が零の点)を挟んでX軸、Y軸の夫々の正方向と負方向とでは、計測される各格子パターンの位置ずれ量の符号は反転する。すなわち、常に主尺となる格子パターンBMx(BMy)に対して副尺となる格子パターンBSx(BSy)の位置ずれ量を計測する場合、投影視野中心(ショット中心)を通るX軸上に存在する各測定点でのディストーション変化率 $D'(x)$ は図6に示すように、像高値が零の点(ショット中心)を挟んでほぼ点対称の関係になる。尚、図6は、図1(C)に示した特性のエンベロープを示したものである。

【0030】また、変化率 $D'(x)$ は、図1(C)に示すように、ΔX(又はΔX')のずらしによって像高値が零の位置 $x_0$ でも微小な値を取る。しかしながら、位置

12

$x_0$ での変化率の値 $D'(x_0)$ は積分演算上で現われる定数項とみなせるので、他の測定位置 $x_1$ 、 $x_2$ ……の夫々での値 $D'(x_1)$ 、 $D'(x_2)$ ……から $D'(x_0)$ を引いたものを以降の積分演算に使ったり、あるいは積分によって得られた図1(D)の特性から一率に $F(x)$ の値を差し引くことによって、像高値が零の点でのディストーション量を零にする規格化が可能である。このことから、レチクルRの中心点に1つのパターン群MPを設けておくことには大きな意義がある。その中心点の

10

20

30

40

50

のパターン群MPの重ね合わせ露光によって得られた格子パターンBM、BSの位置ずれ量、すなわち変化率 $D'(x_0)$ には、レチクルの製造時に決められた間隔ΔX、ΔYとレチクルと感光基板との実際のずらし量ΔX'、ΔY'との間の誤差量(移動誤差分)のみが含まれるのである。これに対して中心点以外のパターン群MPで計測された変化率には、移動誤差分とディストーション量変化率との両方が重畳して含まれている。

【0031】ところで、投影視野内の任意の測定点におけるディストーションの大きさと方向を求める場合、その測定点で得られたX方向のディストーション量 $F(x_0)$ とY方向のディストーション量 $F(y_0)$ との両方をベクトル合成すればよい。こうして、投影視野内の多数の測定点でのディストーション・ベクトルをコンピュータの計算により求め、そのベクトルを矢印の長さと同方向とで表示するようにすれば、投影視野内のディストーション特性の傾向が面として視覚上で確認することができる。もちろん、図1(D)に示した1次元のディストーション特性をグラフィックスによって表示してもよい。

【0032】さて、図5に示したような格子パターンBM、BS間の位置ずれ量(ディストーションによる分)は極めて小さな値である。そのため、位置ずれ量の計測にあたってはナノ・メータ・オーダの分解能を有する計測センサーが必要となる。図7は、そのような要求にみあう位置ずれ検出装置の一例を示し、基本的な構成は特開昭62-56818号公報に開示されているので、ここでは簡単に説明する。この図7で感光基板W上の1組の格子パターンBMx、BSxをBPとすると、可干渉性の2本のレーザビームLB1、LB2は対物レンズG1を介して平行光束となって基板W上に対称的に傾斜して投射される。傾斜方向は格子パターンのピッチ方向と一致している。このときビームLB1とLB2とは一定の周波数差Δfをもっている。このとき格子パターンBPから垂直に回折光が発生するように、2本のビームLB1、LB2の入射角が設定される。ビームLB1の投射によって垂直に発生した回折光(1次光)と、ビームLB2の投射によって垂直に発生した回折光(1次光)とは、互いに干渉して差周波数Δfで強度変調されたビームBTとなって対物レンズG1、レンズ系G2へ戻り、ビームスプリッタBSMで分割され、一方はアパー



チャ板AP<sub>m</sub>を介して光電センサーDT<sub>m</sub>で受光され、他方はアパーチャ板AP<sub>s</sub>を介して光電センサーDT<sub>s</sub>で受光される。アパーチャ板AP<sub>m</sub>、AP<sub>s</sub>は対物レンズG<sub>1</sub>、レンズ系G<sub>2</sub>によって感光基板Wと共役配置されるアパーチャ板AP<sub>m</sub>には格子パターンBM<sub>x</sub>からのビート光BTのみを透過させる開口が設けられ、アパーチャ板AP<sub>s</sub>には格子パターンBS<sub>x</sub>からのビート光BTのみを透過させる開口が設けられる。光電センサーDT<sub>m</sub>、DT<sub>s</sub>はいずれも周波数 $\Delta f$ の正弦波状の交流信号を出力し、両信号は位置ずれ検出系100に印加される。2つの交流信号は、格子パターンBM<sub>x</sub>、BS<sub>x</sub>のX方向の位置ずれ量に応じた位相差をもつため、その位相差を検出系100で高精度に測定する。検出系100はデジタルコンピュータ等を含み、2つの交流信号の波形をサンプリングした後、フーリエ積分の手法によって位相差 $\phi$ を求め、それを位置ずれ量へ換算する。ここでフーリエ積分による位相差計測の分解能を $\pm 0.72^\circ$ とすると、格子パターンのピッチPgを $2\mu\text{m}$ とし、ビート光BTとして1次回折光を使う場合、位相差 $\phi$ の $\pm 180^\circ$ のレンジは、位置ずれ量として $\pm Pg/4$ に相当するから、位置ずれ量の計測分解能は、 $(\pm Pg/4) \times (0.72/180) = \pm Pg/1000$ となり、 $\pm 2\text{nm}$ が得られる。またビート光をBTとして3次回折光を使うように、ビームLB<sub>1</sub>、LB<sub>2</sub>の入射角を設定すると、位相差 $\phi$ が $\pm 180^\circ$ のレンジに対する位置ずれ量は、 $\pm Pg/4$ に対して1/3にされ、計測分解能は $\pm Pg/3000$ にも及ぶ。

【0033】さて、図8は、図1に示したレチクルRを装着して、ディストーション検査されるステッパーの概略的な構成を示し、レチクルRはレチクルマークRM<sub>1</sub>、RM<sub>2</sub>、RM<sub>3</sub>をレチクルアライメント系RA<sub>1</sub>、RA<sub>2</sub>、RA<sub>3</sub>の夫々で検出することによって、投影レンズPLの光軸AXに対してアライメントされる。このステッパーには投影レンズPLのみを介して、感光基板としてのウェハW上のアライメントマーク等を検出するTTL方式のアライメント系TWA<sub>x</sub>、TWA<sub>y</sub>が設けられる。また投影レンズPLの視野を介することなくウェハマークを検出するオフ・アクシス方式のアライメント系OWAも設けられる。ウェハWは、X、Y方向に2次元移動するウェハステージWST上に載置され、その座標位置は、レーザ干渉計IFM<sub>x</sub>、IFM<sub>y</sub>、IFM $\theta$ によって計測される。従って、レチクルRとウェハWとを相対的に $\Delta X'$ 、又は $\Delta Y'$ だけ移動させるときは、干渉計IFM<sub>x</sub>、IFM<sub>y</sub> (又はIFM $\theta$ ) の測長値に基づいてウェハステージWSTを駆動制御する。

【0034】また、図7に示した位置ずれ検出系は、図8中のTTL方式のアライメント系TWA<sub>x</sub>、TWA<sub>y</sub>、又はオフ・アクシス方式のアライメント系OWA内に組み込むことができる。その場合、ステッパーとコーター・デベロッパーとをインライン化しておけば、レチ

クルRの装着からディストーション検査までの一連の工程を自動化することができ、ステッパーが自らディストーションをチェックする機能、すなわちセルフチェックの無人化が達成される。

【0035】次に本発明の第2の実施例による測定方式を説明するが、ここでは基本的に特開平2-31142号公報に開示されているような技術を利用する。図9は、X方向用の主バーニアとしての格子パターンBM<sub>x</sub>と副バーニアとしての格子パターンBS<sub>x</sub>とを表わし、パターンBM<sub>x</sub>とBS<sub>x</sub>の各中心点C<sub>m</sub>、C<sub>s</sub>はX方向に $\Delta X$ だけ離れている。本実施例では2つの格子パターンBM<sub>x</sub>、BS<sub>x</sub>の各投影像を重ね合わせ露光する際、中心点C<sub>m</sub>、C<sub>s</sub>同士がほぼ完全に一致するように設定されている。

【0036】さて、本実施例では、図9の場合、格子パターンBS<sub>x</sub>のラインアンドスペースがY軸に対して $\theta$ だけ傾いている。また格子パターンBS<sub>x</sub>の遮光ライン(斜線部)の幅P<sub>c</sub>とスペースの幅P<sub>d</sub>とは、それぞれ格子パターンBM<sub>x</sub>のスペースの幅P<sub>b</sub>と遮光ライン(斜線分)の幅P<sub>a</sub>とに対応したものとなっている。さらに格子パターンBM<sub>x</sub>の中心点を通る線LL上でのスペース部の間隔(ピッチ)はg<sub>1</sub>であり、格子パターンBS<sub>x</sub>の中心点を通る線LL上での遮光ライン部の間隔(ピッチ)はg<sub>2</sub>である。本実施例では説明を簡単にするため、P<sub>a</sub>=P<sub>d</sub>、P<sub>b</sub>=P<sub>c</sub>、g<sub>1</sub>=g<sub>2</sub>とする。また格子パターンBS<sub>x</sub>の各ライン、スペースの傾き角 $\theta$ はレチクルパターンの描画が可能な程度に小さな値、例えば2~3°程度に定められている。

【0037】このような格子パターンBM<sub>x</sub>、BS<sub>x</sub>が形成されたレチクルを用いて、ポジレジスト層が塗布されたウェハW上に重ね合わせ露光を行ない、現像すると図10に示すように、くさび状のレジストパターンPr<sub>1</sub>、Pr<sub>2</sub>が出現する。このくさび状レジストパターンPr<sub>1</sub>、Pr<sub>2</sub>は、格子パターンBM<sub>x</sub>、BS<sub>x</sub>の各遮光ラインの重ね合わせによって、2回の露光で全く感光されなかった部分である。くさび状のレジストパターンPr<sub>1</sub>とPr<sub>2</sub>とのY方向の長さK<sub>1</sub>、K<sub>2</sub>は、2つの格子パターンBM<sub>x</sub>、BS<sub>x</sub>の各中心点C<sub>m</sub>、C<sub>s</sub>が完全に一致するように重ね合わせ露光されたとき、等しくなる。尚、1本のくさび状レジストパターンの頂角は $\theta$ であり、レジストパターンPr<sub>1</sub>、Pr<sub>2</sub>のY方向の全長は、レチクル上の格子パターンの長さD<sub>s</sub>に対応して、D<sub>s</sub>'となる。投影倍率の値をMとすると、理想的にはD<sub>s</sub>=M・D<sub>s</sub>'になるがレジスト層への露光量の与え方、現像条件等によって長さD<sub>s</sub>'は理想値に対して若干短くなる。

【0038】さて図10のようなレジストパターンが得られた段階で、くさび状レジストパターンPr<sub>1</sub>、Pr<sub>2</sub>のY方向の全長D<sub>s</sub>'を測定し、それを2等分する線LL'の位置、すなわちD<sub>s</sub>' / 2を算出する。次にレ

ジストパターン $P_{r1}$ 、 $P_{r2}$ の夫々のY方向の長さ $K_1$ 、 $K_2$ を測定する。本実施例の場合、2つの格子パターン $BM_x$ 、 $BS_x$ の各中心点 $C_m$ 、 $C_s$ が完全に一致したときは $K_1 = K_2$ になり、ディストーション量、もしくは位置ずらし量 $\Delta X$ に対する誤差分によって、実際の重ね合わせ位置が $\Delta X$ よりもわずかに小さいときは $K_1 > K_2$ になり、逆に $\Delta X$ よりもわずかに大きいときは $K_1 < K_2$ になる。まず $K_1 = K_2$ のときは、図10中に示したレジストパターン $P_{r1}$ 、 $P_{r2}$ のY方向に関する中心点 $L_{cc}$ が $Ds' / 2$ となる中心線 $L L'$ と合致\*10

$$\Delta Y_c = (Ds' - (K_1 + K_2)) / 2 + K_1 - Ds' / 2 \dots (1)$$

あるいは、

$$\Delta Y_c = Ds' / 2 - (K_2 + (Ds' - (K_1 + K_2)) / 2) \dots (2)$$

式(1)はくさび状レジストパターン $P_{r1}$ 側から求める式であり、式(2)はくさび状レジストパターン $P_{r2}$ 側から求める式である。上記式(1)、(2)はいずれも式(3)のようにまとめられる。

$$[0040] \Delta Y_c = (K_1 - K_2) / 2 \dots (3)$$

さらにくさび状レジストパターンの頂角 $\theta$ から、2つの格子パターン $BM_x$ 、 $BS_x$ のX方向の位置合わせ時の誤差分を $\Delta D_x$ とすると、

$$\Delta D_x \approx \Delta Y_c \cdot \sin \theta \dots (4)$$

で表わされる。ここで頂角 $\theta$ が3°程度とすると、偏差量 $\Delta Y_c$ はX方向の誤差量 $\Delta D_x$ を約20倍に拡大したものと見て得られる。従ってくさび状レジストパターン $P_{r1}$ 、 $P_{r2}$ のY方向の寸法 $K_1$ 、 $K_2$ の測定分解能が、例えば0.02  $\mu m$ 程度得られているものとする、それはX方向の誤差量計測に換算して約1 nmの分解能ということになる。

[0041]そこで図9に示した格子パターン $BM_x$ 、 $BS_x$ を、図2、又は図3に示したパターン要素領域 $C_{PA}$ 、 $C_{PX}$ の夫々に形成しておけば、第1の実施例と同様にX方向に関するディストーション量の変化率が高精度に測定できる。Y方向に関しても同じ原理でディストーション量の変化率が測定できる。なお、図10に示したくさび状レジストパターン $P_{r1}$ 、 $P_{r2}$ の寸法計測には、図8に示したステッパーのTTL方式のアライメント系 $TWA_x$ 、又は $TWA_y$ 、あるいはオフ・アクシス方式のアライメント系 $OWA$ 等を使うとよい。その場合、レジストパターン $P_{r1}$ 、 $P_{r2}$ が周期構造をもつことを利用して、スリット状のレーザスポットをウェハ $W$ 上に投射するアライメント系を組み込み、その周期構造によって発生する回折光の強度変化を、スリット状のレーザスポットとウェハ(レジストパターン $P_{r1}$ 、 $P_{r2}$ )との相対走査に同期して光電検出する方式(例えば特開平2-31142号公報に開示)を採用するとよい。

[0042]本実施例の場合も、くさび状レジストパターン $P_{r1}$ 、 $P_{r2}$ を現像によって出現させるものとしたが、2つの格子パターン $BM_x$ 、 $BS_x$ の重ね合わせ

\*するはずである。またレジストパターン $P_{r1}$ と $P_{r2}$ との間には、Y方向に $Ds' - (K_1 + K_2)$ の幅でぬけ領域が存在する。

[0039]このことから、中心線 $L L'$ に対する中心線 $L_{cc}$ のY方向の偏差量が、2つの格子パターン $BM_x$ 、 $BS_x$ の重ね合わせ時のX方向の位置合わせ誤差分(ディストーションによる誤差分も含む)に比例する。中心線 $L_{cc}$ と中心線 $L L'$ とのY方向の偏差量を $\Delta Y_c$ とすると、次式で表わされる。

像のレジスト層における潜像あるいはフォトリソミック層に出現した像を検出するようにしてもよい。あるいは図8に示したステッパーのウェハステージ $WST$ 上に固設された基準板 $FM$ の表面(投影視野以上の面積)にフォトリソミック層を形成しておき、ここにレチクル上の各パターンを重ね合わせ露光し、可視化像を作るようにし、その可視化像をオフ・アクシス方式のアライメント系 $OWA$ で検出するようにしてもよい。フォトリソミック層に紫外線でマクロパターンの像を投影して焼き付けた後、その像の適、不適を観察用顕微鏡で観察し、不適の場合にはフォトリソミック層に強力な可視光を照射して像を消去することは、特公昭41-10550号公報で知られているので、その技術を利用すればよい。

[0043]以上、本発明の各実施例では、 $\Delta X$ 、又は $\Delta Y$ のずらし露光の際、ウェハステージ $WST$ を移動するとしたが、レチクル $R$ 側を移動させてもよい。この場合、レチクル $R$ を保持するレチクルステージの移動位置を計測する測長器(エンコーダ、ポテンシオメータ、又はレーザ干渉計)を用いて、レチクル $R$ を比較的高精度に $\Delta X$ 、 $\Delta Y$ だけ移動させることが望ましい。また、フルフィールドタイプの投影光学系の投影視野内では、一般に光軸 $AX$ から同一の像高点であれば、どの点でも同じディストーション量をもつため、X方向のみの計測によって代表的にディストーション特性を調べるようにしてもよい。その場合の露光動作は2回でよいことになる。さらにマスク上に形成する第1、及び第2の計測用

パターンは極めて接近して配置されるため、EB描画装置による描画誤差も極めて少ない。しかしながら、マスク上に形成される第1、第2の計測用パターンの対を、マスク上のほぼ全面の複数ヶ所に描画する場合、各位置の間隔( $S_x$ 、 $S_y$ )はマスク上ではEB描画装置の1フィールドのサイズよりも大きくなってしまふ。このため、計測パターン対の夫々の配置誤差の問題が考えられる。しかしながら、その配置誤差は仮りに存在していたとしても、実用上大きな誤差とはならない。なぜなら、計測パターンのわずかな配置誤差があっても、その誤差量自体はマスクと感応基板との相対移動量 $\Delta T$ ( $\Delta X$ 、

$\Delta Y$ ) にくらべて格段に小さく、かつその計測点での微分値(傾き)も通常1よりは小さいためである。さらに複数の計測用パターン対のマスク上での配置誤差は、予め精密に計測しておく必要もなく、必要であれば2重露光された感応基板上的パターン像の位置(像高値)として実測すればよいだけである。

【0044】

【発明の効果】以上、本発明によれば従来のようにある像高点でのディストーション量を直接計測するのではなく、第1の計測用パターンと第2の計測用パターンとのずれ量(このずれ量は、ある像高点におけるディストーション曲線上の傾き量、あるいは、ディストーション曲線上での微分値に対応する)を計測できるだけ、マスクと感応基板とを微動させて少なくとも2回の重ね合わせ露光を行えばよいので、露光作業は従来の方法よりも格段に軽減され、作業時間も短縮される。またマスクと感応基板との相対移動量も小さくてよく、しかも1回目の露光と2回目の露光との間も極めて短いので、移動ステージの位置計測センサー(レーザ干渉計等)の誤差も最小限に抑えられ、実用上皆無と考えるとよい。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の原理を説明する図である。

【図2】本発明の実施例として好適なレチクルのパター

ン配置を示す平面図である。

【図3】図2中の1ヶ所のパターン群の内部配置を示す平面図である。

【図4】パターン群の重ね合わせの方法を説明する図である。

【図5】重ね合わせ露光によって得られたパターン形状を示す図である。

【図6】ディストーション特性の一例を示すグラフである。

10 【図7】図5のパターンを計測するための光学的計測手段の一例を示す図である。

【図8】代表的なステッパーの構成を示す斜視図である。

【図9】第2の実施例によるパターン形状を示す図である。

【図10】第2の実施例によって得られたレジスト像の形状を示す図である。

【符号の説明】

R レチクル

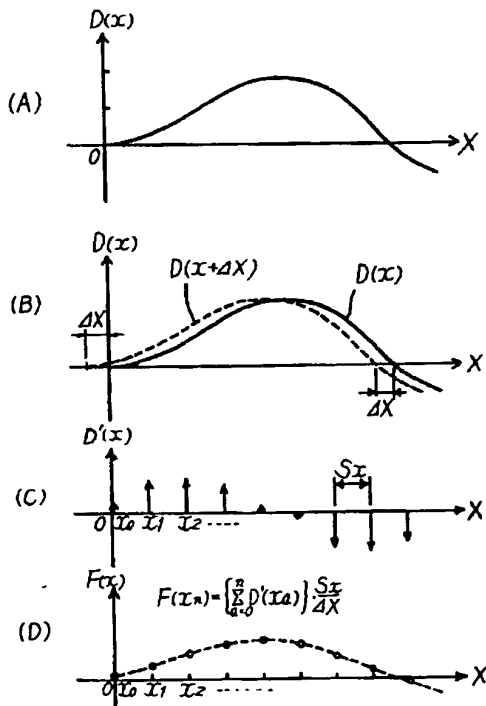
20 CPA、CPX、CPY 計測用パターン形成領域

BSx、BSy、BMx、BMy 計測用パターン

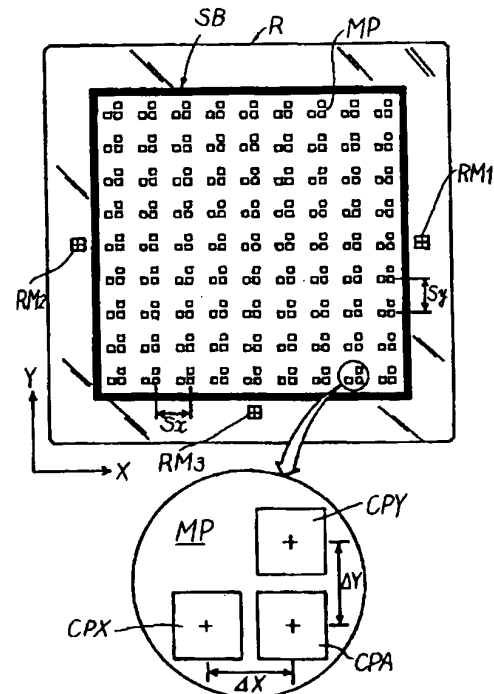
PL 投影レンズ

W ウェハ

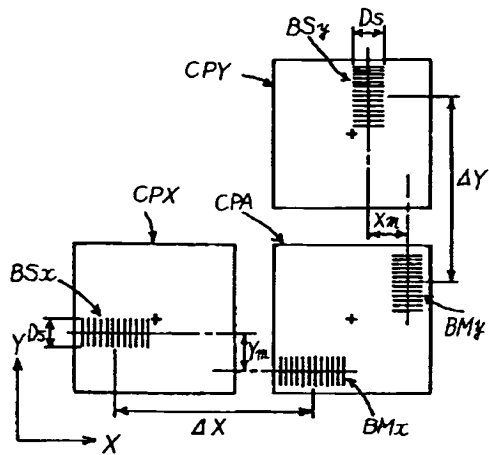
【図1】



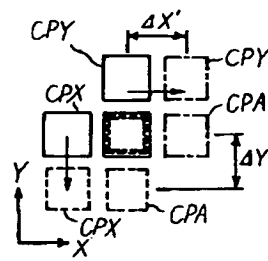
【図2】



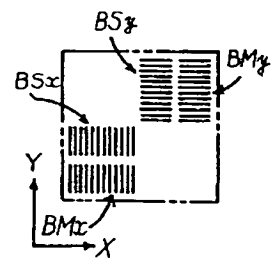
【図3】



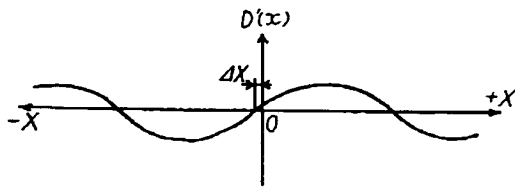
【図4】



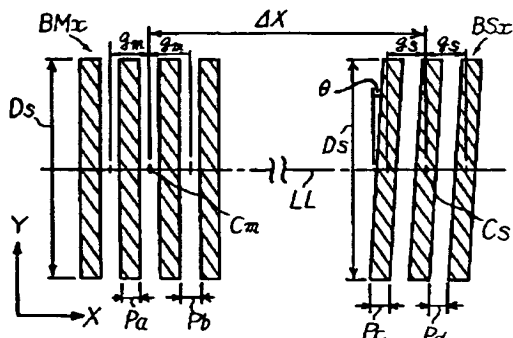
【図5】



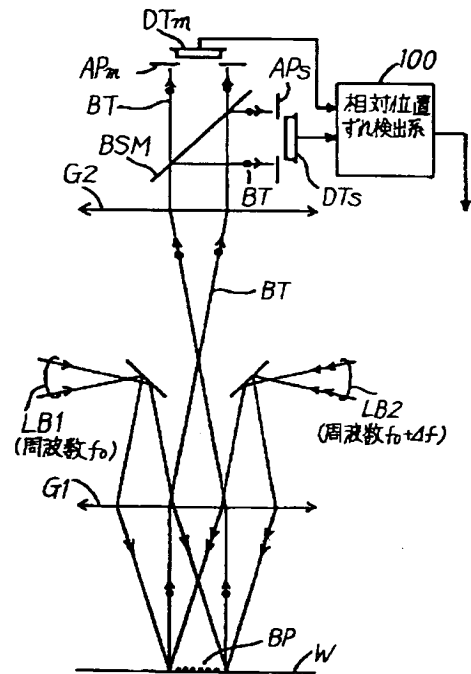
【図6】



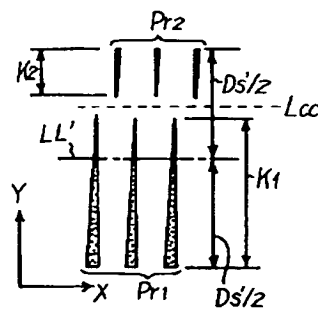
【図9】



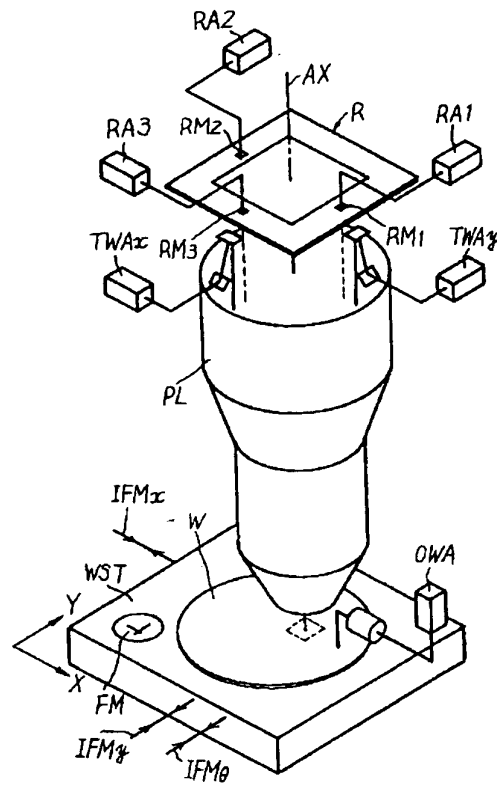
【図7】



【図10】



【図8】



フロントページの続き

(58)調査した分野(Int.Cl.<sup>7</sup>, DB名)

G01M 11/00 - 11/08

G03F 1/00 - 1/16

H01L 21/30

G01B 11/00 - 11/30

